Untersuchungen über die Wachsthumsgesetze der Pflanzenorgane.

II. Reihe. Wurzeln. [1]

Von Richard v. Wettstein.

(Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität. XXVI.)

Einleitung.

Die Wachsthumsweise der Wurzel ist, in Folge der grundlegenden Arbeiten Du Hamel's und Ohlert's, auf die ich später noch eingehender zurückkommen werde, in ihren wichtigsten Punkten bereits lange richtig erkannt. Spätere Arbeiten haben unsere Kenntnisse in mancher Beziehung ergänzt. Dies und der Umstand, dass die Wurzeln im Vergleiche zu den andern Organen der Pflanze ein sehr einheitliches Verhalten darbieten, sind Ursachen, wesshalb das Wachsthum derselben unter allen Pflanzenorganen relativ am besten gekannt ist. Nichts destoweniger erschien eine neuerliche Prüfung dieses Gegenstandes nicht unnöthig, umsomehr, als es an vollständigen Untersuchungen über den zeitlichen und räumlichen Verlauf des Wachsthums, sowie über die in den anatomischen Verhältnissen gelegenen Ursachen jener Erscheinungen bisher fehlte. Hiemit ist auch die Fragestellung skizzirt, von der ich mich bei der vorliegenden Untersuchung leiten liess.

---

[1] I. Reihe: Nutirende Internodien. Unter Mitwirkung von R. v. Wettstein, ausgeführt von J. Wiesner. Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. LXXXVIII. Bd. 1883.

Diese Arbeit wurde im pflanzenphysiologischen Institute der Universität ausgeführt und es sei mir hier gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. J. Wiesner für die Anregung und thatkräftige Unterstützung bei der Durchführung dieser Untersuchung meinen ergebensten Dank abzustatten.

Bevor ich zur Darlegung meiner Beobachtungen und der sich daraus ergebenden Resultate schreite, will ich in kurzen Zügen eine Schilderung der historischen Entwicklung unserer Kenntnisse über das Wachsthum der Wurzel geben.

Die älteren Botaniker wussten von dem Wachsthume der Wurzel nichts anzugeben, als dass dieselbe nach unten wachse. Sie unterschieden sie dadurch vom Stengel, der nach oben wachse. [1]

Die ersten Beobachtungen über das Wurzelwachsthum finden wir in der „Naturgeschichte der Bäume“ von Du Hamel du Monceau. [2] Er wendete die Markirung der Wurzeln durch eingesteckte feine Silberdrähte oder farbige Firnisspunkte an und fand, dass die Wurzeln blos an ihren Enden sich verlängern und die Länge der wachsenden Region 2—3 Linien beträgt. Er erklärte auf diese Weise auch, „warum sowohl die holzigen, als die weichen Wurzeln sich nicht mehr verlängern, sobald nur 3—4 Linien lang von ihren Enden abgeschnitten wird.“ (l. c.)

Die Beobachtungen Du Hamel's blieben lange Zeit die einzigen, die über das Wachsthum der Wurzel angestellt wurden die meisten Physiologen citirten sie, ohne sie zu wiederholen. Einen Rückschritt bedeutet es eher, wenn Link sagt: [3] „In die Länge wächst die Wurzel, wie alle organischen Körper, überall werden nämlich neue Theilchen eingeschoben.“ Er fügt allerdings, den Versuchen Du Hamel's Rechnung tragend hinzu,

---

[1] Vergl. z. B. Willdenow, Kräuterbuch §. 10, Nees v. Esenbeck, Handbuch der Botanik. I. p. 138 u. a.

[2] „Naturgeschichte der Bäume,“ deutsche Übersetzung der Physique des arbres (1758) d. Schöllenbach. Nürnberg 1764. I. Bd. p. 105.

[3] H. F. Link, Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 1807, p. 131.

dass dies häufiger gegen die Spitze geschehe, „wo alles jünger, weicher und ausdehnsamer ist."

Eine ähnliche Ansicht bildete sich E. Meyer, [1] der Du Hamel's Experimente mit gleichen Resultaten wiederholte, jedoch dazu bemerkte, dass daraus noch nicht folge, dass der ganzen Wurzel das Vermögen, sich zu strecken, abgehe.

Erst 80 Jahre nach dem Erscheinen des Werkes Du Hamel's wurde ein neuer Schritt zur Erweiterung der einschlägigen Kenntnisse gethan. Es geschah dies durch die bekannte Arbeit E. Ohlert's. [1] Ohne Kenntniss der Arbeiten früherer Forscher unternahm er selbständige Beobachtungen über das Wachsthum der Wurzel. Die von ihm hiebei angewendete Methode ist die dem Wesen nach noch heute gebräuchliche; sie bestand in dem Markiren mittels farbiger Punkte. Er verbesserte dadurch die Methode Du Hamel's, indem er Verletzungen der Wurzel vermied. Ohlert war der erste, der die Wachsthumsweise der Wurzel naturgemässer darstellte, er fand (v.l.c.p.617): „dass die einmal gebildete Wurzelfaser sich in ihrem Innern nicht mehr verlängert, dass auch die Spitze nicht neu erzeugt wird, dass aber das Wachsthum in die Länge in der Art vor sich geht, dass an einer Stelle, etwa $^1/_2$ Linie über der äussersten Spitze stets neue Materie eingeschoben wird."

Obwohl nähere Angaben Ohlert's fehlen, ist es doch nach der Art und Weise der Versuchsanstellung sicher, dass ihm blos Hauptwurzeln zu seinen Versuchen dienten.

Eine Ergänzung seiner Beobachtungen ist daher die Angabe Link's, [3] dass auch Nebenwurzeln, und zwar solche von *Hyacinthus*, das gleiche Verhalten zeigen, nämlich sich blos in einer der Spitze nahe liegenden Zone zu verlängern.

Auf die Entdeckungen Ohlert's und Link's stützte sich Wigand, [4] der den anatomischen Bau der Wurzel zur Erklärung und theilweise zur Auffindung des Wachsthumes derselben heran-

---

[1] E. Meyer, Die Metamorphose der Pflanze und ihre Widersacher. Linnaea. VII. Bd. 1832. p. 401. ff.

[2] E. Ohlert, Einige Bemerkungen über die Wurzelzasern der höheren Pflanzen. Linnaea. XI. Bd. 1837. p. 609. ff.

[3] Link in den Verhandl. des preuss. Gartenbau-Vereines. 1850.

[4] A. Wigand, Botanische Untersuchungen. 1854, p. 156 ff.

zuziehen trachtete. Er ging dabei von der zum Theile richtigen Beobachtung aus, dass die Zellen von der Spitze der Wurzel gegen die Ursprungsstelle hin an Grösse stetig abnehmen und dass Zellbildung blos in dem der Spitze zunächst gelegenen Theile stattfinde. Dieser Umstand verleitete ihn aber zu der ganz irrigen Ansicht, dass auch das stärkste Wachsthum an der Spitze stattfinden müsse (l. c. p. 159). Dies bestätigten ihm auch eigene Versuche mit *Pisum sativum*. Die widersprechenden Resultate seiner Vorgänger trachtete er dahin zu erklären, dass die ersten Marken bei ihren Versuchen die Wurzelhaube trafen, daher scheinbar die Wurzelspitze am Wachsthum nicht betheiligt sei.

Später wurden die Angaben Ohlert's auch durch Schleiden bestätigt [1]. Er widmete sich besonders den Vorgängen der Zellvermehrung an der Wurzelspitze. So beobachtete er, dass unmittelbar über derselben neue Zellen gebildet werden, von denen stets ein Theil sich nach dem Wurzelhals zu lagere, während der andere die Mutterzellen der nun folgenden Zellengenerationen bilde.

Ferner wurde von Hofmeister [2] die Richtigkeit der Ohlert'schen Resultate sichergestellt, der ebenfalls nachwies, dass die Wurzelspitze am Wachsthume nicht theilnehme. Seine Untersuchungen enthalten auch mehrere Beobachtungen über die Länge der wachsenden Region. Aus den von Hofmeister mitgetheilten Tabellen ergibt sich für *Vicia sativa* eine solche von 3·5 bis 5 Mm., für *Pisum sativum* von 5·5—7 Mm. Wenn diese Werthe mit später mitzutheilenden nicht genau stimmen, ist dies leicht erklärlich aus der bedeutenden Länge der ursprünglich markirten Zonen. (1·5—4 Mm.)

O. Nicolai [3] bringt in seiner Untersuchung über „Das Wachsthum der Wurzel" ausser genauen anatomischen Studien auch Beobachtungen über die Vorgänge bei der Neubildung von Zellen an der Wurzelspitze. Er behauptet auf Grund seiner

---

[1] M. J. Schleiden, Grundzüge der wissenschaftl. Botanik p. 341.

[2] W. Hofmeister, Über die durch die Schwerkraft bestimmten Richtungen von Pflanzentheilen. Pringsheim. Jahrbuch für wissenschaftl. Botanik. III. Bd. 1863, p. 77 ff.

[3] Schriften der physik.-ökonom. Gesellschaft. Königsberg. VII. Jahrg. 1865, p. 33 ff.

Beobachtungen bei *Elodea, Pisum, Mais* u. a., dass die Vegetationsspitze der Wurzel nach der einen Seite Elemente der Wurzelhaube, nach der anderen Bestandtheile der Wurzel bilde. Diesen Zellbildungsvorgang hält Nicolai für die Ursache des Wachsthumes und sieht sich durch diese irrthümliche Anschauung verleitet, die Vegetationsspitze mit dem unpassenden Namen des „Wachsthumspunktes" zu belegen.

Einige Messungen über die Länge der wachsenden Region finden sich in Frank's Beiträgen zur Pflanzenphysiologie.[1] Diese Länge beträgt nach ihm bei *Pisum* 1·4—2·4, bei *Linum usitatissimum* 1 Pariser Linie.

Sehr eingehende Untersuchungen über die Wachsthumsgesetze der Wurzeln enthalten zwei Arbeiten N. J. C. Müllers.[2] Zunächst verdienen dieselben schon der angewendeten Methode halber Erwähnung. Die Markirung der Wurzel erfolgte in der bereits von Ohlert angewendeten Weise durch farbige Punkte. Die Wurzeln wurden sodann in Glasgefässen cultivirt, deren Wände ein Coordinatensystem trugen. Die Ablesung der Verschiebung der Punkte erfolgte durch Kathetometer. Über den Verlauf des Wachsthumes stellte Müller zahlreiche Beobachtungen an, deren Resultate zum Theile in Curven graphisch dargestellt wurden. Aus diesen Angaben lässt sich bereits die bis dahin unbekannte Thatsache entnehmen, dass die wachsende Region sich immer mehr der Spitze nähert, je länger der Versuch dauert. Müller selbst drückt dieses Verhältniss aus in dem Satze (l. c. p. 405): „Der Partialzuwachs ist eine stetige Function von λ, wo λ eine Function von der Entfernung des Elementes hinter der Spitze der Wurzel in der Zeit ist." Der unrichtigen Auffassung der Bedeutung der Zelltheilung für das Wachsthum durch Wigand (vergl. oben p. 62) entgegen ergibt sich aus Müller's Untersuchungen, dass die in der Wurzelspitze stattfindende Neubildung von Zellen am Wachsthume direct nicht betheiligt sei. „Der Totalzuwachs, welcher allein durch die Vermehrung der

[1] A. B. Frank, Beiträge zur Pflanzenphysiologie. Leipzig. 1868. p. 34 ff.

[2] N. J. C. Müller, Vorläufige Notiz über die Wachsthumserscheinungen der Wurzel. Bot. Zeitung. 1869, p. 369 u. 385 ff. — Die Wachsthumserscheinungen der Wurzel. Bot. Zeitung 1871, p. 693, 709 u. 725 ff.

Zellen in der Nähe der Vegetationsspitze erfolgt, ist in einem kleinen Zeitintervall = 0." (l. c.)

Einige Angaben über die Länge der wachsenden Region enthalten Th. Ciesielski's Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel.[1] Ciesielski bestätigt die bereits erwähnten Beobachtungen Hofmeisters und fand die wachsende Region der Wurzel bei *Lens esculenta* 3·5 Mm. lang.

Zahlreiche Beobachtungen über die Lage der Zone stärksten Zuwachses, über die Länge des im Wachsthum begriffenen Wurzelstückes, sowie über die Beeinflussung dieser Verhältnisse durch äussere Factoren, finden sich in einer Abhandlung von J. Sachs.[2] In Bezug auf die Länge der wachsenden Region constatirte er, dass dieselbe bei denselben Arten nicht constant sei und besonders von dem Alter der Wurzel und dem Medium, in welchem die Wurzel cultivirt wird, abhänge. Sachs fand ferner die Lage der am stärksten wachsenden Zone nicht constant, da dieselbe während längerer Beobachtungsdauer dem Vegetationspunkte sich immer mehr nähere. Seine Beobachtungen bestätigen in dieser Hinsicht vollkommen die bereits oben erwähnten Angaben N. J. C. Müller's. Die Untersuchungen Sachs' erstrecken sich auch auf Nebenwurzeln I. Ordnung, bei denen sich ähnliche Verhältnisse wie bei Hauptwurzeln finden; die Länge der wachsenden Region und die Entfernung der Zone des stärksten Wachsthumes ist bei ersteren im Allgemeinen geringer als bei letzteren. Auf Nebenwurzeln höherer Ordnung konnte die Untersuchung methodischer Schwierigkeiten halber, nicht ausgedehnt werden.

Neuestens hat Molisch,[3] gelegentlich der Untersuchung des Hydrotropismus der Wurzeln, Beobachtungen über die Länge der wachsenden Region von Zea Mais veröffentlicht. Dieselbe beträgt bei einer Temperatur von 16—18° C. 4—6Mm.

Indem wir die hier entworfene Darstellung einer Geschichte des Gegenstands überblicken und dadurch den Stand unserer heutigen Kenntnisse zusammenfassen, sind wir auch in der Lage,

---

[1] F. Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanze. 1875. I. Bd. II. Hft. p. 1.

[2] J. Sachs, Über das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arbeiten des Bot. Institutes in Würzburg. I. 1873—74. p. 385 ff. und 584 ff.

[3] H. Molisch, Untersuchungen über den Hydrotropismus. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien. LXXXVIII. Bd. 1883, p. 917 ff.

jene Lücken zu erkennen, die noch auszufüllen sind. Daraus ergeben sich von selbst die Fragen, die bereits oben angedeutet wurden. Die Untersuchungen über den Verlauf des Wachsthums, wie sie von Ohlert, Link, Hofmeister und deren Nachfolgern durchgeführt wurden, betrafen meist nur einen kleinen Theil des Wachsthumes, selbst die eingehenderen Forschungen Müller's und Sachs' sind noch nicht im Stande, ein vollständiges Bild zu entwerfen. Den ganzen Wachsthumsverlauf an Haupt- und Nebenwurzeln verfolgende Beobachtungen fehlen noch. Hand in Hand damit müssen natürlich auch Untersuchungen gehen über jene Vorgänge in den Geweben der Wurzel, die sich äusserlich als Wachsthum bemerkbar machen, Vorgänge, die von Wigand und Nicolai richtig beobachtet, aber irrthümlich interpretirt und auch von Hofmeister nur theilweise in ihrer Bedeutung erkannt wurden. Endlich sollen in der folgenden Abhandlung auch Beobachtungen Platz finden, die vielleicht eine Erklärung des Zustandekommens einiger das Wachsthum der Wurzel begleitender Nutationserscheinungen ermöglichen.

Methode.

Zum Zwecke der Durchführung genauer Beobachtungen war es nöthig, die bisher übliche Methode der Markirung durch farbige Punkte in manchen Beziehungen zu verfeinern. Diese Verfeinerung betraf sowohl die Art und Weise des Auftragens der Marken, als auch die Messung der, in Folge des eingetretenen Wachsthumes entstandenen Distanzen. Einige Apparate, wie sie von Herrn Professor Wiesner in der I. Reihe dieser Untersuchungen[1] geschildert wurden, die die Markirung von Stengeln überaus leicht und sicher machen, konnten hier leider nicht angewendet werden, da die zarten Gewebe der jungen Wurzel selbst bei grösster Sorgfalt durch Anwendung der „Theilrädchen“ (l. c. p. 20) oder der anderen am angegebenen Orte beschriebenen Apparate, leicht Verletzungen erlitten. Es blieb daher nichts übrig, als die Marken mittels feiner Haarpinsel oder

[1] „Untersuchungen über die Wachsthumsgesetze der Pflanzenorgane“ I. Reihe: Nutirende Internodien, Unter Mitwirkung v. R. v. Wettstein ausgef. von J. Wiesner Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien. LXXXVIII. Bd. 1883 p. 19 ff.

fein zugespitzter Holzstifte auszuführen. Es lassen sich auf diese Weise bei einiger Übung sehr leicht Marken in Distanzen von 0·1—1 Mm. auftragen. Als Farbmasse wurde Tusch verwendet. Druckerschwärze, die bei Markirung von Stengeln sehr gute Dienste leistet, war hier nicht anzuwenden, da vergleichende Versuche den schädigenden Einfluss der Druckerschwärze auf die Ausbildung der Wurzeln darthaten. In manchen Fällen, bei Verfolgung des Wachsthumsverlaufes während längerer Zeit, stellte sich die Nothwendigkeit heraus, neu entstandene Theile der Wurzel neuerdings mit einer Markirung zu versehen. Ich gebrauchte dann zur Auftragung derselben Carmin oder Berlinerblau, da bei Anwendung dieser Farbstoffe keinerlei ungünstiger Einfluss bemerkbar war. Die dritte Neumarkirung konnte dann wieder mit Tusch vorgenommen werden; so wechselte ich mit der Anwendung der Farben ab.

Die Messung der Markenabstände erfolgte in gleicher Weise, wie sie von Wiesner in der bereits oben citirten Arbeit geschildert wird. Sowohl Glasmikrometer als Federzirkel erwiesen sich als sehr brauchbar, ersteres allein besonders bei Messung kleinerer Distanzen, letzterer in Combination mit dem Glasmikrometer dann, wenn es galt, grössere Entfernungen zu messen. In beiden Fällen war das Resultat auf 0·1 Mm. genau.

Sowohl Markirung als Messung sind in der eben geschilderten Weise leicht durchzuführen bei Culturen im feuchten Raume. Werden die Wurzeln, wie es ja vielfach nothwendig ist, im Wasser oder einem anderen Medium gezogen, so sind einige Vorsichtsmassregeln nöthig. Da die frisch aufgetragenen Marken bald wieder verschwinden würden, ist es von Vortheil, die markirten Wurzeln einige Minuten liegen zu lassen, bis die Marken einigermassen eingetrocknet sind. Ist dies geschehen, so werden die Marken, wenigstens wenn sie mittels Tusch angefertigt wurden, vom Wasser nicht weiter verändert. Sehr wichtig ist es aber, hiebei den Farbstoff möglichst verdünnt anzuwenden und zart aufzutragen, da die Trocknung dickerer Schichten zu lange dauert, als dass hiebei die Wurzel nicht geschädigt würde. Viel schwieriger ist es, nachträglich Markirungen an Wurzeln vorzunehmen, die bereits einige Zeit in Wasser cultivirt wurden. Es empfiehlt sich in diesem Falle, die Wurzeln möglichst rasch

durch Auflegen feinen Filterpapiers abzutrocknen und dann wie neu markirte zu behandeln. Selbst bei grösster Vorsicht ist hiebei der Verlust mancher Wurzel nicht zu vermeiden.

Wenn es nicht galt, die ersten Entwicklungsstadien der Wurzeln des Keimlings zur Beobachtung heranzuziehen, wurden die Samen, nachdem sie 10—24 Stunden im Wasser gequollen, in feucht gehaltenem Sägemehl der Keimung überlassen. Nachdem die Wurzeln hier die erforderliche Länge erreicht hatten, wurden sie erst zum Versuche verwendet. Alle Culturen verliefen, mit Ausnahme jener Fälle, die in der folgenden Darstellung besonders erwähnt sind, im Dunkeln bei einer Temperatur von 18—22° C.

Beobachtungen.

Die folgenden Beobachtungen sollen zur Lösung der Frage beitragen, in welcher Weise das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln vom Momente der Keimung an verläuft. Es ist hiebei bemerkenswerth, dass gerade die ersten Stadien des Wachsthums bisher ununtersucht blieben, obwohl gerade diese manches interessante Moment darbieten.

Die Wurzeln wurden sobald sie die Samenschale verliessen, markirt, was nach Wegschneiden des umgebenden Theiles der Testa leicht zu bewerkstelligen war. Sobald die im wachsenden Theile gelegenen Zonen eine bedeutendere Länge erreicht hatten, wurde eine neue Markirung vorgenommen. Hiebei war es in manchen Fällen nicht möglich, die verschiedenen Stufen des Wachsthumsverlaufes an ein und derselben Wurzel zu verfolgen, da die starke Verzerrung der ehemaligen Marken einerseits eine genaue Neumarkirung verhinderte, anderseits bei länger andauernden Versuchen dadurch die Oberfläche der Wurzel mit einer dünnen Farbschichte überzogen wurde, die mehr oder minder störend wirkte.

I. Hauptwurzel.

Pisum sativum.

Cultur im feuchten Raume bei einer Temperatur von 23 bis 24·5° C. Versuch 1—4.

Unter denselben Verhältnissen fünf weitere Versuche mit gleichen Resultaten.

1.

Datum	16.			17.		18.		19.	20.
	October 1883.								
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.
Oben (Wurzelhals.)	0·5	**0·7**[1]	0·8	1·6	—	—	—	—	—
	0·5	**0·7**	0·8	3·2	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	**0·9**	**4·3**	5·2	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·8	3·0	**5·4**	6·0	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	1·8	3·4	**9·8**	10·0	—	—
	0·5	0.5	0·6	0·9	1·2	7·8	**14·8**	**18·0**	**19.0**
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	1·0	1·2	2·2	3·5
Unten (Spitze)	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

2.

Datum	16.			17.		18.		19.	20.	21.
	October 1883.									
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.	9h M.
Oben.	0·5	**0·8**	1·8	3·0	—	—	—	—	—	—
	0 5	0·7	**2·0**	4·0	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	1·5	5·6	6·4	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	1·0	**8·5**	**10·0**	—	—	—	—	—
	0·5	0.5	0·6	2·5	6·0	**11·8**	**12·4**	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	1·0	1·2	1·7	6·8	**12·8**	7·8	**18·0**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·8	1·5	2·2	8·2	**17·2**

[1] Durch fett gedruckte Ziffern werden die Maximalwerthe kenntlich gemacht. Die Zahlen drücken stets die Länge der Zone, nicht den Zuwachs aus.

3.

Datum	16.			17.		18.		19.	20.	21.
	October 1883.									
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.	9h M.
Oben	0·5	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·9	1·0	1·2	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·9	1·8	2·4	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·8	1·4	3·2	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·7	1·4	4·6	—	—	—	—	—	—
	0·5	0.5	1·0	6·6	6·8	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	5·5	10·2	11·4	11·4	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	1·6	4·8	7·4	10·5	18·0	26·4	29·0
Unten	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8	0·8	1·2	1·2	1·4	1·9

4.

Datum	16.			17.		18.		19.	20.	21.
	October 1883.									
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.	9h M.
Oben	0·5	0·8	0·9	—	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·9	1·2	1·5	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·8	1·8	2·5	—	—	—	—	—	—
	0·5	0.7	1·8	2·8	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	2·0	4·2	—	—	—	—	—	—
	0·5	0.6	2·0	6·6	7·0	—	—	—	—	—
	0·5	0.5	1·2	6·0	9·3	9 ·8	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	1·0	3·2	5·5	13·0	18·6	22·8	23·0
	0·5	0·5	0·5	0·7	0·7	0·2	0·9	2·2	4·2	14·2
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6

5.

Cultur im feuchten Sägemehl. T. = 16—18° C.

Ein zweiter Versuch lieferte ein übereinstimmendes Resultat.

Datum	16.			17.			18.		19.	20.	21.
	October 1883.										
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.	9h M.
Oben	0·5	**0·6**	0·6	0·5	—	—	—	—	—	—	—
	0 5	**0 6**	**1·4**	1·4	—	—	—	—	—	—	—
	0·5	**0·6**	0·8	2·6	—	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·7	3·3	3·8	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	**4·8**	**6·4**	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	2·5	5·5	**6·8**	7·2	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	1·2	2·5	5·0	**11·0**	**12.4**	**13·0**	**13·0**	—
	0·5	0·5	0·5	0·7	0·7	1·0	1·4	2·5	4·2	11·5	**16·5**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

6.

Cultur im feuchten Raume. T. = 23·5—24° C.

Zeit der Beob-achtung	12.				13.				14.
	October 1883								
	11h V.M.	3h N.M.	7h A.	11h A.	9h M.	1h N.M.	5h N.M.	9h A.	9h M.
Oben	0·5	**0·7**	0·6	0·6	—	—	—	—	—
	0·5	**0.7**	0·9	1·3	2·1	—	—	—	—
	0·5	**0·7**	1·0	1·4	3·0	—	—	—	—
	0·2	0·6	**1·2**	**1·5**	3·6	—	—	—	—
	0·5	0·6	1·0	1·1	4·5	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·9	0.9	**5·7**	5·9	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	0·7	4·2	⎧1·0[1]	—	--	—
	0·5	0·5	0·6	0·6	0·7	⎨**1·8**	2·0	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	⎪1·5	**2·2**	2·8	3·5
Unten						⎩1·2	1·8	**3·0**	**4·4**
						0·7	0·7	0·8	1·1
						0·5	0·5	0·5	0·5

[1] Die 4·2 Mm. lange Zone wurde neu markirt in drei Zonen à 1 Mm. und eine (die unterste) von 1·2 Mm. Länge.

7.

Cultur im feuchten Raum. T. = 21—23° C. Die Wurzel war bei Beginn des Versuches 35 Mm. lang, das der Spitze zunächst gelegene Stück wurde in zehn Zonen markirt.

Datum	3. November					4. November					5. November		6. November		7. November
	10h M.	1h N.M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	9h M.	12h M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	92M.	9h A.	9h M.	9A.	9h M.
Oben	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·3**	1·5	1·6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·3**	**1·6**	**2·0**	2·2	3·8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·2	1·3	**2·3**	**9·0**	{1·2	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	5·0	1·3	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·4	1·5	1·6	—	—	—	—	—	—	—
							1·6	**1·8**	**2·2**	2·6	3·0	—	—	—	—
							1·2}	1·2	1·3	**3·8**	**12·2**	—	—	—	—
							1·4	1·4	1·5	1·8	2·4	{**2·6**[1]	**10·0**	—	—
												1·5}	3·5	{**1·4**	2·5
														1·1	**7·0**
														1·5}	3·5

Drei weitere in gleicher Weise durchgeführte Versuchsreihen ergaben gleichsinnige Ergebnisse.

[1] Die Zone 2·4 wurde um 9h Abends in eine von 1 Mm. und eine von 1·4 Mm. Länge getheilt. Bei allen Neumarkirungen betrug die Länge der untersten Zone 1 Mm. mehr den Bruchtheilen.

Phaseolus multiflorus.

Cultur im feuchten Raum. T. = 23—24° C. 14 Versuche, von denen die drei folgenden mitgetheilt werden sollen. Die übrigen ergaben gleiche Resultate bis auf einen, bei diesem war die Wurzel schwächlich.

8.

Datum	17. October				18.		19.		20.
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	12^h N.	9^h M.	9^h A.	9^h M.	9^h A.	9^h M.
Oben	1·0	1·0	1·0	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·2	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·3**	1·4	1·5	—	—	—	—	—
	1·0	1·2	**1·6**	1·8	2·0	—	—	—	—
	1·0	1·2	**1·6**	1·8	2·0	—	—	—	—
	1·0	1·2	1·4	**1·9**	2·4	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·4	**1·7**	4·5	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·2	1·5	**7·6**	**12·2**	12·5	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·1	2 1	5·3	**13·6**	**17·5**	**20·0**
Unten	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·5	1·6	2·4

9.

Datum	17. October				18.		19.		20.
	9^h M.	12^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	9^h A.	9^h M.	9^h A.	9^h M.
Oben	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8	—	—	—	—
	0·5	**0·8**	0·8	1·0	1·5	—	—	—	—
	0·5	**0·8**	1·0	1·2	2·0	—	—	—	—
	0·5	0·7	**1·1**	1·3	2·2	—	—	—	—
	0·5	0·7	1·0	**1·5**	2·4	—	—	—	—
	0·5	0·1	1·0	1·3	**9·3**	9·5	—	—	—
	0·5	0·6	0·8	1·0	4·6	**12·2**	**18·2**	**19·2**	—
	0·5	0·5	0·5	0·8	1·0	2·2	3·2	6·8	9·3
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8

10.

Datum	17.				18.		19.		20.	
	October									
	9h M.	12h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.
Oben	0·5	0·5	0·5	0·6	1·0	—	—	—	—	—
	0·5	**0·8**	0·8	0·8	1·2	—	—	—	—	.
	0·5	**0·8**	**0·9**	1·0	2·0	—	—	—	—	—
	0·5	0·7	**0·9**	**1·2**	2·5	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	0·8	**1·2**	3·3	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	0·8	**1·2**	**5·8**	5·9	—	—	—	—
	0·5	0·6	0·8	1·0	5·0	**12·2**	**20·2**	**22·5**	**22·5**	—
	0·5	0·5	0·6	0·6	1·0	1·6	2·5	9·4	18·8	**25·6**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8	1·1

Cultur im feuchten Raum. T. = 21·5—22·5° C. Die Wurzeln wurden markirt, sobald ihre Spitze die Testa durchbrochen hatte. Acht Versuche mit übereinstimmenden Resultaten.

11. und 12.

Zeit der Beobachtung	23. October					24. October		
	9h V.M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	12h N.	9h M.	3h N.M.	9h A.
Versuch 11	0·5	**0·6**	**0·7**	**0·7**	1·2	2·4	2·3	—
	0·5	**0·6**	0·6	**0·7**	**1·3**	3·0	2·8	—
	0·5	0·5	0·6	0·6	0·9	**4·0**	**4·3**	—
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·7	3·2	4·2	**5·2**
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·7	1·8	2·3	2·7
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	1·0	1·1	1·2
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5
Versuch 12	0·5	**0·7**	**1·0**	**1·2**	1·4	2·2	—	—
	0·5	**0·7**	0·9	**1·2**	**1.5**	3·0	—	—
	0·5	0·6	0·9	1·1	**1·5**	3·5	—	—
	0·5	0·5	0·7	0·8	1·1	**5·4**	**5·8**	—
	0·5	0·5	0·6	0·6	0·7	3·8	5·0	**6·8**
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	1·0	1·3	1·5

Die beiden folgenden Versuchsreihen wurden an Wurzeln begonnen, die bereits eine Länge von 2 Ctm. erreicht hatten. Der Wachsthumsverlauf kann als die Fortsetzung des in Versuch 11 und 12 dargestellten angesehen werden.

Cultur im feuchten Raum. T. = 22—23·5° C.

Überdies drei ähnliche Versuchsreihen mit gleichem Ergebnisse.

13.*[1]

Zeit der Beobachtung	31. October			1. November			2. November		3. November	
	9h M.	3h N.M.	6h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.
Oben	1·0[2]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·1	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·2	1·5	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·3	1·9	2·5	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·5**	2·5	3·0	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·5**	3·0	4·0	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·4	**3·4**	**10·4**	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·4	1·5	6·9	0·9	—	—	—	—	—
Unt	1·0	1·0	1·0	1·3	1·0	—	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—	—
					1·0	1·1	—	—	—	—
					1·2	**1·8**	2·5	3·0	1·0	—
					1·3	1·8	**3·0**	**5·0**	1·0	—
					1·3	1·4	1·4	2·0	1·0	—
									1·4	—
									1·8	2·0
									1·5	**2·1**
									0·1	1·2

[1] Die mit einem Sternchen versehenen Tabellen bezeichnen Versuche, die bis zur Beendigung des Wachsthumes fortgeführt wurden.

[2] Bei diesem, sowie dem folgenden Versuche wurde blos eine Strecke von 9 Mm. von der Spitze aufwärts markirt.

14.

Zeit der Beobachtung	31. October			1. November			2. November		3. November
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.
Oben	1·0	1.0	1·0	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·0	1·1	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·4	1·4	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·4	1·7	2·0	—	—	—	—	—
	1·0	1 4	1·8	2.2	—	—	—	—	—
	1·0	**1·6**	2·0	3·3	—	—	—	—	—
	1·0	1·5	**3·1**	9·9	—	—	—	—	—
	1·0	1·4	1·5	**10·2**	0·2	—	—	—	—
Unten	1·0	1·0	1·0	1·2	1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1 0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·1	1·3	—	—	—
					1·4	**2·2**	4·2	**5·0**	1·5
					1·3	2·1	**5·0**		**2·2**
					1·3	1·8	3·2		1·6
									1·2
									1·0

Zea Mais.

15.

Die Wurzeln wurden, sobald sie die Testa durchbrochen hatten, markirt. 15 Versuche, davon sollen blos die drei folgenden mitgetheilt werden.

Cultur im feuchten Raume. T. = 23° C.

Zeit der Beobachtung	1.				2.		
	November						
	12h M.	3h N.M.	9h A.	12h N.	9h M.	3h N.M.	9h A.
Oben	0·5	**0·8**	1·0	1·0	1·1	—	—
	0·5	0·6	**1·2**	1·4	1·5	—	—
	0·5	0·5	1·0	**1·6**	1·8	2·2	—
	0·5	0·5	0·8	1·5	**6·5**	**7·2**	—
	0·5	0·5	0·5	0·7	1·4	6·5	**8·4**
Unten	0.5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6

16.

Zeit der Beobachtung	1.					2.	
	November						
	12h M.	1h N.M.	3h N.M.	6h N.M.	9h A.	9h M.	12h N.
Oben	1·0	**1·1**	1·1	—	—	—	–
	1·0	**1·1**	1·1	—	—	—	—
	1·0	1·0	**1·2**	1·6	1·8	2·0	—
	1·0	1·0	**1·2**	**1·8**	**2·9**	4·3	5·2
	1·0	1·0	1·1	1·4	2·0	**7·2**	**11·5**
Unten	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·2	1·5

17.

Zeit der Beobachtung	1.					2.			
	November								
	12h M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	12h N.	9h M.	3h N.M.	6h A.	9h A.
Oben	0·5	**0·9**	**1·0**	**1·2**	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	0·7	1·0	**1·5**	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	0·8	1·4	2·2	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·6	1·2	**4·5**	4·6	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·5	1·1	**4·5**	5·5	—	—
	0·5	0·0	0·5	0.5	1·0	2·4	**6·0**	**10·4**	—
	0·5	0·5	0·5	0.5	0·8	1·5	2·2	7·4	**12·5**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0.5	0·5	0·5	0·8	1·3

Während die soeben dargestellten Versuche das Wachsthum junger Wurzeln zur Auschauung bringen, sollen die nächsten (18. und 19.) Versuchsreihen jenen Wachsthumsverlauf zeigen, der sich an Wurzeln darbietet, die bereits eine grössere Länge erreicht haben. Zu diesem Zwecke wurde an Wurzeln von 30 und 35 Mm. Länge von der Spitze aufwärts eine Strecke von 10 Mm. markirt. Es genügt die Markirung einer Strecke von 10 Mm., da bei Wurzeln von solcher Länge die wachsende Region niemals länger ist.[1]

[1] Vergl. Sachs l. c.

18 *

Zeit der Beobachtung	3.				4.			
								N o-
	9h V.M.	3h N.M.	6h A.	12h M.	9h M.	12h M	6h A.	9h A.
Oben	1·0	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—
	1 0	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·2	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·4	1·8	1·9	—	—	—
	1·0	**1·2**	**1·6**	**3·2**	5·0	—	—	—
	1·0	1·0	1·1	1·6	**10·5**	10·7	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	4·0	{1·2	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	{**1·5**	**2·2**	—
						{1·2	2·0	**4·1**
						{1·0	1·8	2·8
						1·0	1·2	1·4
Unten								

[1] Es wurde blos das unterste 6 Mm. lange Stück markirt.

18 *

5.				6.			7.		
vember									
9^h M.	12^h M.	6^m A.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4·6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10·8	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
2·1	1 0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·3	1·4	—	—	—	—	—	—	—
	1.2	**5·2**	—	—	—	—	—	—	—
	2·1	3·4	**5·4**	**11·8**[1]	1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·4	1·5	—	—	—
					2·0	**2·9**	3·6	1·0[1]	—
					1·4	1·8	**8·2**	1·2	—
					1·1	1·1	2·0	**2·7**	**4·8**
								1·3	1·5
								1·1	1·2

[1] 5 Mm. von der Spitze aufwärts wurden neu markirt.

19.*

Zeit der Beobachtung	3.					4.			
									No
	9h M.	12h M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	9h M.	12h M.	6h A.	9h A.
Oben	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·3	—	—	—	—	—	—
	1·0	**1·2**	**1·7**	**2·1**	**3·1**	—	—	—	—
	1·0	1·1	1·5	1·7	2·7	**9·8**	—	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·2	5·5	0·5[1]	—	—
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	2·0	1·0	—	—
							1·3	1·4	—
							1·4	2·0	2·4
							1·4	**2·5**	**3·1**
							1·1	1·8	1·9
							2·0	2·0	2·0
Unten									

[1] Die Zone 5·5 wurde markirt in (von unten nach oben) fünf Zonen à 1 Mm. und eine von 0·5 Mm. Länge.

19*

5.				6.			7.		
vember									
9h M.	12h M.	6h A.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2·5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4·8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13·2	1·0[1]	—	—	—	—	—	—	—	—
2·0	1·0	—	—	—	—	—	—	—	—
	1·2	—	—	—	—	—	—	—	—
	2·2	**4·1**	4·5	—	—	—	—	—	—
	1·2	3·1	**4·7**	**12·5**	—	—	—	—	—
	2·4	2·5	2·8	5·0	1·0	—	—	—	—
					1·0	—	—	—	—
					1·1	1·2	—	—	—
					1·3	**2·3**	**9·0**	1·0	—
					1·3	1·6	3·0	1·4[2]	1·5
								3·3	**4·7**
								1·3	1·8
								1·0	1·1

[1] Blos das unterste Stück der Zone 13.2 in der Länge von 5 Mm. wurde neu markirt.

[2] Ein 5 Mm. langes, von der Spitze aufwärts reichendes Stück wurde mit einer neuen Markirung versehen.

Erwähnt sei hiebei, dass zur Bestätigung dieser Wachsthumsweise unter gleichen Verhältnissen acht weitere Versuchsreihen durchgeführt wurden, die zu gleichen Resultaten führten.

Cucurbita Pepo.

Um die ersten Stadien der Entwicklung der Wurzel der Beobachtung zu unterwerfen, wurde an Samen, die 24 Stunden in Wasser gequollen waren, der die Radicula bedeckende Theil der Testa losgelöst und erstere dann markirt. Die weitere Cultur verlief im feuchten Raume bei einer Temperatur von 22° C. (Versuch 20 und 21). Eine Reihe anderer Versuche (im Ganzen zehn, davon mitgetheilt Versuch 22, 23 und 24) wurde in dem Moment begonnen, als die junge Wurzel aus der Samenschale hervortrat. Da in diesem Zustande ein Unterschied zwischen Würzelchen und Hypocotyl noch nicht bemerkbar ist, wurde die ganze Keimpflanze von den Cotylen abwärts markirt und die auf das Hypocotyl entfallenden Marken erst später, nachdem eine Differenzirung bereits eingetreten war, ausgeschlossen. Ein theilweises Wegschneiden der Testa war auch bei diesen Versuchsreihen nöthig. Die Cultur geschah ebenfalls im feuchten Raum. T. = 22 bis 22·5° C.

20. und 21

Zeit der Beobachtung	3. November				
	9^h M.	12^h M	$3N^h$ M.	6^h A.	4^h A.
20. Oben	0·5	**0·6**	**0·7**	0·8	0·8
	0·5	0·5	0·6	**0·9**	**1·1**
	0·5	0·5	0·6	0·7	1·0
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5
21. Oben	0·5	**0·6**	**0·8**	**0·9**	1·0
	0·5	0·5	0·6	0·7	**1·1**
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

22.

Zeit der Beob-achtung	3.					4.			
	November								
	9^{h} M.	12^{h} M.	3^{h} N.M.	6^{h} A.	9^{h} A.	9^{h} M.	12^{h} M.	3^{h} N.M.	9^{h} A.
Oben	0·5	**0·6**	**0·6**	**0·7**	**0·8**	0·9	—	—	—
	0·5	0·5	**0·6**	0·6	0·7	0·9	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	1·0	1·1	—	—
	0·5	0 5	0·5	0·5	0·6	**1.2**	1·4	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·9	**1·6**	**2·1**	**5·7**
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·8	1 1	1·1	1·3
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

23.

Zeit der Beob-achtung.	3.					4.				5.
	November									
	9^{h} M.	12^{h} M.	3^{h} N.M.	6^{h} A.	9^{h} A.	9^{h} M.	12^{h} M.	3^{h} N.M.	9^{h} A.	9^{h} M.
Oben	0·5	**0·6**	**0·6**	0·6	0·6	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	**0·6**	0·6	0·6	—	—	—	—	—
	0·5	0·5	**0·6**	0·7	0·7	—	—	—	—	—
	0·5	0·0	0·5	0·7	0·8	1·0	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	**0·8**	**1·3**	**3·2**	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	**0·8**	1·2	2·8	**3·4**	**3·6**	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·7	1·8	2·2	3·4	**4·0**	**7·2**
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	0·6	0·7	0·7	2·8
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0 5	0·5	0·5	0·5	0·6

24.

Zeit der Beob-achtung	3.					4.				5.
	November									
	9^{h} M.	12^{h} M.	3^{h} N.M.	6^{h} A.	9^{h} A.	9^{h} M.	12^{h} M	3^{h} N.M.	9^{h} A.	9^{h} M.
Oben	0·5	**0·6**	0·6	0·6	0·7	0·8	—	—	—	—
	0·5	**0·6**	**0·7**	0·9	0·9	1·0	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	**1·0**	1·2	1·1	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	0·9	**1·4**	2·4	—	—	—	—
	0·5	0.5	0·5	0·7	0·9	**3·2**	**3·4**	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·7	0·7	1·4	2·8	**3·6**	**4·2**	**8·5**
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·7	0·7	0·7	3·2
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6

Vicia Faba.

Wurzeln im Beginn des Versuches 4—5 Mm. lang. Cultur im feuchten Raume. T. = 17·5—18·5° C. Acht Versuche, davon sieben mit gleichem Verlauf.

25.

Zeit der Beobachtung	6.			7.		
	November					
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Oben	0·5	0·6	0·7	0·8	—	—
	0·5	**0·7**	**1·3**	1·5	—	—
	0·5	0·6	1·0	1·8	—	—
	0·5	0·6	0·8	**2·8**	3·2	—
	0·5	0·5	0·7	2·1	**3·5**	3·7
	0·5	0·5	0·6	1·5	2·6	**4·2**
	0·5	0 5	0·5	1·0	1·4	1·5
	0·5	0·5	0.5	0·7	0·7	0·7
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

26.

Zeit der Beobachtung	6.			7.		
	November					
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Oben	0·5	**0·7**	1·0	1·1	—	—
	0·5	0·6	**1·2**	1·4	—	—
	0 5	0·6	1·1	1·7	—	—
	0·5	0·6	1·0	**3·1**	3·2	—
	0·5	0·5	0·8	2.6	**3·5**	3·8
	0·5	0·5	0·7	1·8	2·4	**4·0**
	0·5	0·5	0·6	0·8	1·0	1·3
	0·5	0·5	0·6	0·6	0·6	0·6
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

II. Nebenwurzel (incl. Adventivwurzel).

Wie bereits früher erwähnt wurde, haben schon die Untersuchungen Link's und in viel eingehenderer Weise die Sachs'[1] den Nachweis erbracht, dass das Wachsthum von Nebenwurzeln im Wesentlichen dem der Hauptwurzeln gleich sei. Ebenso enthält auch die Arbeit von Sachs zahlreiche Angaben über Länge und Lage der wachsenden Region. Es erübrigt daher nur, das Wachsthum von Nebenwurzeln in jüngeren, bisher noch nicht berücksichtigten Entwicklungsstadien zu verfolgen. Überdies sollen einige Beobachtungen über Nebenwurzeln zweiter Ordnung hier noch Platz finden.

Phaseolus multiflorus.

1. Nebenwurzeln erster Ordnung.

Wurzeln bei Beginn des Versuches 3—4 Mm. lang.
Cultur im feuchten Raum. T. = 22·5—23° C.
Zwölf Versuche mit übereinstimmenden Resultaten.

27.

Zeit der Beobachtung	25.				26.		27.
	October						
	12h M.	3h N.M.	6h A.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.
Oben	0·5	**0·7**	**1·2**	1·6	1·7	—	—
	0·5	0·6	1·0	**1·8**	3·8	—	—
	0·5	0·6	0·8	1·2	**6·0**	—	—
	0·5	0·5	0·6	0·8	2·8	**7·0**	8·1
	0·5	0·5	0·5	0·6	1·1	3·1	**8·3**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5

[1] Cf. p. 61 und p. 64.

28.

Zeit der Beobachtung	25.				26.		27.
	October						
	12^h M.	3^h N.M.	6^h A.	9^h A.	9^h M.	9^h A.	9^h M.
Oben	0·5	**0·8**	0·9	—	—	—	—
	0·5	**0·8**	**1·1**	1·3	1·5	—	—
	0·5	0·7	1·0	**1·5**	3·3	—	—
	0·5	0·6	0 8	1·2	**6·8**	**7·4**	—
	0·5	0·5	0·6	0·8	2·0	6·4	**13·6**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·7	1·2

29.

Zeit der Beobachtung	9.						10.		
	November								
	11^h V.M.	1^h N.M.	3^h N.M.	5^h A,	7^h A.	10^h A.	9^h M.	12^h M.	6^h A.
Oben	0·5	**0·6**	**0·7**	0·8	0·8	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·6	**1·0**	**1·3**	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·9	1·2	**1·4**	2.2	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·7	0·9	1·0	**4·8**	**5·1**	5·3
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	1·2	3·2	**7·5**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·7	0·7	1·1

30.

Zeit der Beobachtung	9.							10.		
	November									
	10^h V.M.	12^h M.	2^h N.M.	4^h N.M.	6^h A.	8^h A.	10^h A.	9^h M.	12^h M.	6^h A.
Oben	0·5	**0·6**	**0·7**	0·7	—	—	—	—	—	—
	0·5	**0·6**	**0·7**	**0·8**	**1·0**	**1·4**	1·4	1·5	—	—
	0·5	0·5	0·6	0·6	0·8	0·9	**1·6**	2·2	—	—
	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	0·6	1·1	3·4	3·6	—
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	**5·2**	**9·4**	—
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	3·0	6·8	**11·5**
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	1·8	2·2	3·0
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·6	1·0

2. Nebenwurzeln zweiter Ordnung.

Cultur in feuchtem Sägemehl. T. = 18·5—20.

31.

Zeit der Beobachtung	12.			13.
	November			
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.
Oben	0·5	0·6	0·7	0·7
	0·5	**0·7**	**1·2**	1·8
	0·5	0·6	0·8	**2·5**
Unten	0·5	0·5	0·5	0 8

32.

Zeit der Beobachtung.	12.					13.	
	November						
	9^h M.	12^h M.	3^h N.M.	6^h A.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.
Oben	0·5	**0·6**	**0·7**	0·7	0·8	0·8	0·8
	0·5	**0·6**	0·6	**0·8**	**1·2**	1·4	1·4
	0·5	0·5	0.5	0·6	0·8	**2·5**	{0·5[1]
	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	1·0	{0·7
							{0·9
							{**1·2**
							{0·8
Unten							2·1

Pisum sativum.

Nebenwurzeln erster Ordnung.

Cultur im feuchten Raume. T. = 22° C.

Drei Versuche mit ähnlichen Resultaten.

33.

Zeit der Beobachtung	5.				6.
	November				
	9^h M.	1^h N.M.	6^h A.	9^h A.	9^kM.
Oben	0·5	0·6	0·7	0·7	0·7
	0·5	**0·7**	0·9	1·0	1·0
	0·5	0·6	**1·2**	**1·4**	1·4
	0·5	0·5	0·6	0·8	**3·2**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	1·2

[1] Die Zone 2·5 wurde um 9^h Vormittags in fünf à 0·5 Mm. getheilt.

Hyacinthus orientalis.

Die Zwiebeln wurden auf mit Wasser gefüllten Hyacinthengläsern cultivirt und die entstehenden Adventivwurzeln, sobald sie eine Länge von 2—3 Mm. erreicht hatten, markirt. Vier Versuche mit übereinstimmenden Ergebnissen. T. = 16·5—18.

34.

Zeit der Beobachtung	6. December			7. December		
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Oben	0·5	**0·7**	**1·3**	1·5	—	—
	0·5	0·6	0·9	**2·1**	**2·3**	2·5
	0·5	0·6	0·6	1·1	2·1	**2·7**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8	1·2

Salix purpurea.

Zweige dieser Pflanze mit dem unteren Theile in Wasser gebracht, entwickelten daselbst bald zahlreiche Adventivwurzeln. Genaue Beobachtungen konnten nur an relativ wenigen gemacht werden, da die meisten Wurzeln, zum Zwecke der Markirung ausserhalb des Wassers gebracht, verwelkten, bevor die Markirung eingetrocknet war. Es gelangen vier Versuchsreihen, die in ihren Resultaten übereinstimmten. T. = 18·5—22° C.

35.

Zeit der Beobachtung	10. December			11. December		
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Oben	0·5	**0·6**	0·6	0·7	0·7	0·7
	0·5	**0·6**	**0·7**	0·9	0·9	0·9
	0·5	0·5	0·6	**1·5**	**1·8**	1·9
	0·5	0·5	0·6	0·8	1·3	**2·4**
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5	0·6	0·8

Die Untersuchung erstreckte sich, ausser auf die oben angeführten Versuchspflanzen, auch auf Keimwurzeln von *Helianthus annuus, Phaseolus vulgaris, Vicia sativa* u. a. Die entsprechenden Aufzeichnungen wurden hier nicht mitgetheilt, da sie blos das bereits Dargelegte bestätigten.

Zunächst ergibt sich aus der Betrachtung der mitgetheilten Tabellen, dass der Verlauf des Wachsthumes der Wurzel nicht von der Einfachheit ist, wie man ihn, den bisher bekannten Thatsachen entsprechend, sich vorzustellen geneigt ist. Als Beginn des Wachsthumes einer Wurzel betrachtete ich jenen Moment, in dem die im Samen angelegte Radicula nach vorausgegangener Quellung in Streckung kommt.

Wir finden in dieser Zeit das Wachsthum am Wurzelhals, an jenem Punkte, wo die Wurzel an das Hypocotyl anstösst. In diesem Stadium verlässt die Wurzel auch die Samenhülle [1]. Nun beginnt das Wachsthum auf die zunächst darunter liegenden Theile der Wurzel überzugehen, während es zugleich an dem zuerst in Streckung begriffenen allmälig zu erlöschen anfängt. Wir finden daher bei Wurzeln von 1·5—2 Mm. Länge das Maximum des Zuwachses etwa in der Mitte gelegen. Ein scheinbarer Stillstand in dieser Verschiebung des Maximalzuwachses tritt ein, sobald dieser in einer geringen Entfernung von der Spitze stattfindet. Dieser Abstand von der Wurzelspitze ist ein verschiedener und nicht blos von der Art der betreffenden Versuchspflanze, sondern insbesondere von individuellen und äusseren Verhältnissen abhängig, worauf ich noch eingehender zurückkommen werde. In diesem Wachsthumsstadium gilt der Satz, den man bisher für das Wachsthum der Wurzel characterisirend hielt: die Wurzel wächst in einer knapp oberhalb der Spitze gelegenen Zone. Bekanntlich ist dieser Umstand bereits von Ohlert erkannt worden. Doch ist dieser Stillstand in der Verschiebung der Wachsthumszone, wie schon erwähnt, blos ein scheinbarer.

Schon Müller [2] und Sachs [3] haben gezeigt, dass bei längerer Versuchsdauer die Zonen stärksten Wachsthumes nicht

---

[1] Vergl. insbesondere Tab. 11, 12, 15—17, 20—24, 26.
[2] Bot. Zeit. 1869, pag. 369 u. 385 ff.
[3] Arbeiten des bot. Institutes in Würzburg. I. 1873/74 pag. 424 ff.

dieselbe relative Lage an der Wurzel einnehmen, sondern stets der Spitze näher rücken. Mit voller Klarheit geht dies besonders aus den mitgetheilten Versuchen 13, 14, 18 und 19 hervor.

Wir wollen, um an einem Beispiele den Verlauf des Wachsthums zu verfolgen, die Versuche 11 und 13 näher ins Auge fassen, von denen der erstere ein jüngeres, der letztere ein etwas vorgerückteres Stadium in der Wachsthumsgeschichte der Wurzel von *Phaseolus multiflorus* darstellt. Im Beginn des Versuches (11) wuchs die 3·5 Mm. lange Wurzel an ihrem Grunde; nach 12 Stunden war die dort gelegene Zone von 0·5 Mm. Länge auf 0·7 Mm. gewachsen, während sich in den übrigen Zonen ein nur schwacher oder kein Zuwachs nachweisen liess. Nach 15 Stunden finden wir das stärkste Wachsthum (1·3 Mm.) bereits in der zweiten Zone und so sehen wir es nach abwärts fortschreiten, bis es nach 36 Stunden (14. October, 9^h Abends) die vierte Zone erreicht hat und somit der Spitze bis auf 4·5 Mm. nahe gekommen ist. Unter diesen Verhältnissen beginnt Versuch 13. Nach 6 Stunden findet sich das Maximum des Zuwachses in der vierten und fünften Zone, nach 12 Stunden bereits in der dritten, wo es auch noch nach weiteren 12 Stunden zu finden ist. (1. November, 9^h Morgens) Nun macht sich verstärktes Wachsthum in der knapp hinter der Spitze gelegenen Zone bemerkbar, also 1 Mm. von dieser entfernt, um endlich nach 84stündiger Versuchsdauer auch diese zu erreichen.

Dieser an der Hand eines Versuches betrachtete Wachsthumsverlauf findet sich in allen anderen Tabellen bestätigt und es kann wohl hier ausgesprochen werden, dass derselbe als für die Wurzel allgemein geltend angesehen werden kann.

Im Zusammenhang mit den bekannten Thatsachen lassen sich daher diese Verhältnisse in folgenden Satz zusammenfassen:

Das Wachsthum der Wurzel ist ein localisirtes; doch verschiebt sich im Laufe der Weiterentwicklung die Zone stärksten Wachsthums. Das Wachsthum beginnt am Wurzelhalse und rückt von dort allmälig gegen die Spitze vor, um, sobald es diese erreicht, zu erlöschen.

Diese, das Wachsthum beherrschenden Gesetze haben nicht blos für Hauptwurzeln Giltigkeit, sondern auch, wie Tab. 27 bis 35 zeigen, für Nebenwurzeln erster und zweiter Ordnung.

Was im Vorstehenden zunächst in Bezug auf die Lage des Maximalzuwachses gesagt wurde, gilt ebenso für die Lage der wachsenden Region überhaupt, deren Theil die Region des grössten Zuwachses ja ist. Die Veränderungen, die hiebei in der Länge der wachsenden Region vor sich gehen, sollen später noch eine eingehende Behandlung erfahren.

Die Zeit, in der die Verschiebung der Zone des grössten Zuwachses um dieselbe Strecke erfolgt, ist nicht in allen Entwicklungsstadien eine gleich lange, sondern abhängig von der Entfernung jener Zone vom Wurzelhals. Je näher die wachsende Zone der Wurzelspitze kommt, desto geringer wird die Geschwindigkeit, mit der ihr Weiterrücken erfolgt. So erreichte in Versuch 11 die Region des stärksten Zuwachses die vierte Zone nach Verlauf von 36 Stunden, während in Versuch 13 ein Vorrücken um die entsprechende Länge von zwei Zonen [1] eine Zeit von 60 Stunden in Anspruch nahm.

Bedenkt man hiebei, dass gerade Wurzeln, die eine Länge von 3—8 Cm. erreicht hatten, am häufigsten zu Versuchen benützt wurden, dass ferner, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, auf dieser Entwicklungsstufe die Verschiebung der Wachsthumsregion relativ sehr langsam vor sich geht, so ist es leicht erklärlich, warum die Ansicht, dass die Verlängerung der Wurzel stets von einer knapp oberhalb der Spitze gelegenen Region ausgehe, die herrschende werden konnte.

Aus der Art des Verlaufes des Wachsthums ergibt sich auch leicht von selbst die Erklärung, dass verschiedene Beobachter zu verschiedenen Resultaten in Bezug auf die Lage der wachsenden Region kamen, da dieselbe bei Wurzeln verschiedenen Alters in verschiedener Entfernung von der Spitze liegen musste.

Inwieferne die Länge der wachsenden Region von denselben Verhältnissen abhängig ist, sollen die folgenden Beobachtungen zeigen.

---

[1] Die ursprüngliche Länge der Zonen betrug in Versuch 11 nämlich 0·5 Mm., bei Versuch 13 dagegen 1·0 Mm.

Samen von *Pisum sativum* wurden in Wasser gequollen und hierauf in feuchtem Sägemehl der Keimung überlassen. Ein Theil der erzielten Keimlinge wurde zum Versuch genommen, sobald die Würzelchen die Testa verlassen hatten; dieselben wurden sodann markirt und im feuchten Raume weiter cultivirt. Von den sechs Versuchen, die in ihren Ergebnissen übereinstimmten, möge einer hier Platz finden.

36.

		Oben								Unten
Länge der Zonen	12. Oct. 11^h V.M.	0·5,	0·5,	0·5,	0·5,	0·5,	0·5,	0·5,	0·5,	0·5
„ „ „	„ 5^h Ab.	**0·6.**	**0·9,**	**1·0,**	**0·9,**	**0·6,**	**0·6,**	0·5,	0·5,	0·5
„ „ „	13. Oct. 11^h V.M.	**3·7,**	**2·1,**	**3·0,**	**3·6,**	**4·5,**	**5·7,**	**4·2,**	**0·7,**	0·5

In den ersten sechs Stunden des Versuches betrug also die Länge der wachsenden Region 3 Mm.,[1] in den nächsten 18 Stunden 5·6 Mm. bei einer Gesammtlänge von 25 Mm. Nun wurde der zweite Theil der Keimlinge, deren Wurzeln indessen die nämliche Länge erreicht hatten, der Cultur entnommen und in einer Länge von 10 Mm. markirt. Es ergab sich folgender Wachsthumsverlauf:

		Oben									Unten
Länge der Zonen	13. Oct. 9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0
„ „ „	14. Oct. 9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	**1·1,**	**1·2,**	**2·5,**	**6·8,**	**12·0,**	**2·2**

Es reichte also die ursprüngliche Länge der wachsenden Region von der sechsten bis zur ersten Zone, betrug daher 6 Mm.; nun wurden die beiden, der Spitze zunächst liegenden Zonen 12·0 u nd 2·2) neu markirt.

		Oben									Unten
Länge der Zonen	14. Oct. 9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0
„ „ „	15. „ 9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	**1·2,**	**1·6,**	**5·5,**	**9·2,**	**3·8**

---

[1] Alle Angaben über die Länge der wachsenden Region sind in der Folge stets als Maximalwerthe anzusehen. Es ergibt sich dies aus einer einfachen Betrachtung. Finden wir nämlich beispielsweise eine Zone von 1 Mm. nach x Stunden auf 3 Mm. angewachsen, so können wir nicht sagen, die Länge der wachsenden Region beträgt 1 Mm., sondern höchstens 1 Mm., da wir nach unserer Methode nicht angeben können, ob das ganze 1 Mm. lange Stück an der Streckung betheiligt war oder blos ein Theil desselben. Dieser Fehlerquelle wurde übrigens bereits von Sachs l c. p. 415 Erwähnung gethan.

Innerhalb dieser 24 Stunden war mithin eine Strecke von höchstens 5 Mm. Länge gewachsen. Abermals wurden die zwei untersten Zonen mit Marken in Entfernungen von je 1 Mm. versehen.

			Oben									Unten
Länge der Zonen	15. Oct.	9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0
„ „ „	16. „	9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	**2·8**,	**6·0**,	**2·5**

Aus diesem Versuche ergibt sich eine Länge der im Wachsthum begriffenen Region von 3 Mm. Jetzt wurden die Zonen 6·0 und 2·5 neu markirt.

			Oben									Unten
Länge der Zonen.	16. Oct.	9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0
„ „ „	17. „	9^h M.	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	1·0,	**2·0**,	**1·2**

Die Länge der wachsenden Region betrug also nur mehr 2 Mm. Im Laufe der nächsten 24 Stunden stellte die Wurzel ihr Wachsthum gänzlich ein. Zu bemerken wäre noch, dass alle diese Culturen bei möglichst constanter Temperatur von 18 bis 20° C. verliefen und mehrmals wiederholt zu demselben Resultate führten.

Fassen wir nun die Ergebnisse der obigen Versuche zusammen, so ergibt sich:

Länge der wachsenden Region während der

ersten 6 Stunden	3 Mm.
ersten 24 Stunden	5·6 Mm.
zweiten „	6 Mm.
dritten „	5 „
vierten „	3 „
fünften „	2 „
sechsten „	0 „

Auf diese Thatsachen und die Ergebnisse der früher mitgetheilten Tabellen gestützt, lässt sich folgendes Gesetz aussprechen: Die Länge der wachsenden Region nimmt zu, während diese sich der Wurzelspitze nähert, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder ab.

Eine, dieses Gesetz zum Theil bestätigende Thatsache wurde bereits von Sachs mitgetheilt, indem er in der früher citirten Abhandlung als Resultat seiner Versuche mit *Faba*-Wurzeln an-

gibt, [1] dass die Länge der wachsenden Region geringer wurde, wenn er die Wurzeln am zweiten Versuchstage neu markirte.

Die Erwägung des Umstandes, dass während 24 Stunden die wachsende Region sich bereits um eine gewisse Strecke der Wurzelspitze genähert hat, also ein Theil der Wurzel nach dieser Zeit eine Verlängerung zeigt, ohne noch im Wachsthume begriffen zu sein, lässt es zweifelhaft erscheinen, ob das oben erwähnte Gesetz nicht etwa blos eine scheinbare Folge des auf pag. 91 ausgesprochenen ist, dass nämlich die Geschwindigkeit des Vorrückens der wachsenden Region anfangs eine grössere ist und später allmälig kleiner wird. Darnach wäre es erklärlich, dass anfangs bei einer Beobachtungszeit von 24 Stunden die wachsende Region grösser erscheint als später, zu einer Zeit, in der das Vorrücken bereits mit einer geringeren Geschwindigkeit vor sich geht. Während gegen diesen Erklärungsversuch schon die Thatsache, dass die Länge der wachsenden Region zu einer Zeit noch im Zunehmen ist, während die Geschwindigkeit des Vorrückens bereits abnimmt, spricht, wurde die Stichhältigkeit dieses Einwurfes direct durch Versuche widerlegt, die mit Beobachtungen in kürzeren Zeitintervallen durchgeführt wurden und ebenfalls den früher ausgesprochenen Wechsel in der Länge der wachsenden Region erwiesen.

Vergleichende Beobachtungen ergaben zunächst, dass eine Durchführung der hiezu nöthigen Messungen an ein und derselben Wurzel unmöglich sei, da in Folge des dazu nöthigen oftmaligen Entnehmens aus dem feuchten Raume jede Wurzel nach kurzer Zeit in einen mehr oder minder abnormen, krankhaften Zustand kam. Es blieb daher nichts übrig, als Wurzeln verschiedenen Alters in Bezug auf die Länge der wachsenden Region zu prüfen und die so gewonnenen Resultate zu vergleichen. Bei der grossen Rolle, welche individuelle Verschiedenheiten gerade bei Wurzeln spielen, konnte den Ergebnissen natürlich nur dann ein Werth zugesprochen werden, wenn sie sich auf zahlreiche Beobachtungen stützten. Beispielsweise soll blos der nachfolgend geschilderten Versuchsreihe Erwähnung geschehen: An sechs aufeinander folgenden Tagen wurde täglich eine Anzahl

[1] L. c. pag. 419.

möglichst gleicher Samen von *Zea Mais* in ein Keimbett von feucht gehaltenem Sägemehl gegeben. ($T = 14—15°$ C.) Am neunten Tage waren die jungen Wurzeln demgemäss auf verschiedener Stufe der Entwicklung. Sie wurden markirt und im feuchten Raume bei einer Temperatur von 20—20·5° C. cultivirt [1].

Es ergibt sich mithin aus der nachstehenden Tabelle (37) die Länge des im Wachsthum begriffenen Theiles:

für eine 3 Tage alte Wurzel	3 Mm.
„ „ 4 „ „ „	5 „
„ „ 5 „ „ „	5 „
„ „ 6 „ „ „	4 „
„ „ 7 „ „ „	4 „
„ „ 8 „ „ „	3 „

Mit voller Bestimmtheit geht aus dieser Zusammenstellung die Richtigkeit des früher ausgesprochenen Gesetzes in Bezug auf die wechselnde Länge der wachsenden Region hervor. Allerdings ist hiebei zu beachten, dass diese Länge, die aus einer Beobachtungszeit von längerer Dauer sich ergibt, sich immer zu gross darstellen muss, da sie die Summe der wirklichen Länge dieser Region und des während derselben Zeit von ihr zurückgelegten Weges angibt. Von diesem Gesichtspunkte aus sind auch die Werthe in Tab. 36 anzusehen.

In Bezug auf die Maximalwerthe der Länge der wachsenden Zone lassen sich für Wurzeln die Grenzen von 6—8 Mm. angeben. Specifische und individuelle Eigenthümlichkeiten vermögen, wie bereits erwähnt, diese Werthe mannigfach zu variiren.

Nachdem wir im Vorhergehenden die Gesetze behandelt haben, die das Wachsthum der Wurzel beherrschen, drängt sich unwillkürlich die Frage auf, ob dieser gesetzmässige Verlauf des Wachsthums nicht durch den Einfluss äusserer Verhältnisse eine Abänderung erfahren kann, ob dieselben Gesetze in Wirksamkeit bleiben, mag die Wurzel in den verschiedensten Medien, unter den verschiedensten Temperaturen und sonstigen äusseren Factoren leben. Zunächst soll die Frage nach dem Effekt des umgebenden Mediums ihre Beantwortung finden. Aus den in dieser

[1] V. Tab. 37, p. 38.

37.

Bezeichnung d. Wurzel	*A.*		*B.*		*C.*		*D.*		*E.*		*F.*	
Alter der Wurzel in Tagen	3		4		5		6		7		8	
Länge der Wurzel in Millimeter	13		19		24		37		59		64	
Zeit der Beobachtung	9^h M.	3^h N.M.	9^h M.	3^h N.M.	9^h M.	3^h N.M.	9^h M.	3^h N.M.	9^h M.	3^h N.M.	9^h M.	3^h N.M.
Wurzelhals, resp. oberes Ende der Scala[1]	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0
	1·0	1·0	1·0	1·1	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1.0	1·0	1·0
	1·0	1·6[2]	1·0	1·5	1·0	1·1	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0
	1·0	2·0	1·0	2·0	1·0	1·6	1·0	1·2	1·0	1·7	1·0	1 0
	1·0	1·8	1·0	2·2	1·0	2·8	1·0	1·5	1·0	2·0	1·0	1·4
	1·0	1·0	1·0	1·2	1·0	1·8	1·0	1·8	1·0	2·1	1·0	1·8
	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·1	1·0	1·3	1·0	1·6	1·0	1·3
Wurzelspitze	1 0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0

[1] An allen Wurzeln wurde blos ein 10 Mm. langes, unterstes Stück markirt.

[2] Durch den seitlich angebrachten Strich sollen die in der wachsenden Region liegenden Zonen ersichtlich gemacht werden.

Hinsicht unternommenen Versuchen Sachs'[1] ergibt sich die Verschiedenheit, dass in feuchter Luft cultivirte Wurzeln meist eine geringere Länge der wachsenden Region aufweisen, als solche, die in Wasser oder Erde gezogen wurden. Da es jedoch hiebei Sachs nicht ankam, den ganzen Wachsthumsverlauf einer Prüfung zu unterziehen, so sollen die folgenden Versuchsreihen diesem Zwecke dienen.

Gleich lange, junge Wurzeln von *Pisum sativum* wurden in feuchter Luft, Wasser und feuchtem Sägemehl gezogen. Ein Keimsubstrat von Sägemehl wurde einem solchen von Erde vorgezogen, da bei Anwendung des letzteren es sehr schwer fällt, die Wurzel bei längerer Versuchsdauer in der zu Messungen erforderlichen Reinheit zu erhalten. Die ursprüngliche Länge der markirten Zonen betrug 0·5 Mm. Alle Versuche verliefen im Dunkeln.

38.

Cultur im feuchten Raume. Temperatur 18—19·5° C.

Zeit der Beobachtung	14.			15.			16.		
	October								
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.	3h N.M.	9h A.
Wurzelhals	0·5	0·6	0·8	1·0	1·0	—	—	—	—
	0·5	0·7	1·0	1·7	1·6	—	—	—	—
	0·5	0·7	1·0	2·0	1·8	—	—	—	—
	0·5	**0·8**	1·4	3·2	3·1	—	—	—	—
	0·5	0·8	**1·8**	6·2	6·2	—	—	—	—
	0·5	0·5	1·0	**8·8**	**9·4**	—	—	—	—
	0·5	0·5	0·7	4·0	6·5	**9·6**	**20·6**	**22·7**	**23·0**
	0·5	0·5	0·5	1·0	1·2	1·2	3·0	5·5	9·8
Spitze	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·8	1·4

[1] L. c. pag. 418.

39.

Cultur im Wasser. Temperatur desselben 17—18° C.

Zeit der Beobachtung	14.			15.			16.		
	October								
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Wurzelhals	0·5	0·6	0·7	0·9	—	—	—	—	—
	0·5	0·6	0·9	1·5	—	—	—	—	—
	0·5	0·8	1·2	1·8	1·9	—	—	—	—
	0·5	**0·9**	1·5	3·2	3·3	—	—	—	—
	0·5	0·8	**2·2**	7·5	8·0	8·5	—	—	—
	0·5	0·6	1·8	**9·2**	**13·2**	**16 2**	**26·4**	**26·4**	—
	0·5	0·5	0·9	1·2	3·5	4·0	10·8	18·5	**27·8**
Spitze	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·7	1·0	3·5	3·5

40.

Cultur in feuchtem Sägemehl. Temperatur 17—18·5° C.

Zeit der Beobachtung	14.			15.			16.		
	October								
	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.	9^h M.	3^h N.M.	9^h A.
Wurzelhals	0·5	0·6	0 9	—	—	—	—	—	—
	0·5	0·7	0·9	1·1	—	—	—	—	—
	0·5	0·8	1·1	1·9	—	—	—	—	—
	0·5	**0·9**	1·4	2·8	3·2	—	—	—	—
	0.5	**0·9**	**2·1**	7·7	7·9	—	—	—	—
	0·5	0·7	1·4	**10·3**	**13·5**	14·0	—	—	—
	0·5	0·6	1·2	3·5	7·4	**15·8**	**22·4**	**22·4**	—
	0·5	0·5	0·6	0·9	1·3	5·4	10·3	19·5	**28·7**
Spitze	0·5	0·5	0·5	0·5	0·7	0·9	1·2	1·4	4·3

Diese Versuche mehrmals wiederholt, führten immer zu gleichen Ergebnissen; aus ihnen geht zunächst mit Bestimmtheit hervor, dass die Art und Weise des Wachsthumsverlaufes unabhängig ist von der Beschaffenheit des die Wurzel umgebenden Mediums.

In allen drei Versuchen tritt uns dasselbe Bild entgegen. Die Wurzeln beginnen ihr Wachsthum, indem sie sich in der Nähe des Wurzelhalses strecken, das Wachsthumsmaximum nähert sich hierauf der Spitze, indem die Geschwindigkeit der progressiven Bewegung zugleich abnimmt; ein Wachsthumsverlauf, der der früher aufgestellten Norm vollkommen entspricht. Dass der Totalzuwachs abhängig ist von dem Substrat, auf dem die Wurzel wächst, ist bekannt; auch bei unseren Versuchen zeigt die in feuchtem Sägemehl gewachsene den stärksten Zuwachs, indem sie in drei Tagen eine Länge von 84·7 Mm. erreichte; den zweiten Rang nimmt die Wurzel aus der Wassercultur ein, ihre Endlänge betrug 68·5 Mm., während die in feuchter Luft gezogene eine solche von 57·7 Mm. erlangte.

Bereits die mitgetheilten Tabellen setzen uns in Stand zu erkennen, dass verschiedene Temperaturen das Wachsthumsgesetz nicht in irgend einer Weise zu verändern vermögen. Ich will hier nur daran erinnern, dass z. B. die in Tab. 5 verzeichnete Versuchsreihe bei einer Temperatur von 16—18° C. angestellt wurde, während die in Tab. 4 dargestellte bei 23 bis 24·5° C. verlief. Trotzdem ergaben beide gleiche Resultate. Dass das Wachsthumsgesetz auch hervortritt bei einem Wachsthum in der Nähe des Temperaturminimums, soll folgende Beobachtungsreihe zeigen: Junge, circa 1 Cm. lange Wurzeln vom *Pisum sativum* wurden in feuchter Luft bei 9—10° C. gezogen. Die Messungen erfolgten täglich um 9 Uhr Morgens. Vier Parallelversuche. (Siehe Tabelle Seite 100).

Dass bei den in höheren günstigeren Vegetationsbedingungen entsprechenden Temperaturen ausgeführten Versuchen das Wachsthum rascher verlief, kann wohl nicht befremden.

Auf Grund dieser Versuche lässt sich mit Bestimmtheit behaupten, dass weder die Beschaffenheit der umgebenden Medien, noch verschiedene Temperaturen auf das Wachsthumsgesetz einen Einfluss ausüben, soferne

nur jene Bedingungen hergestellt sind, unter welchen das Wachsthum überhaupt möglich ist.

41.

Zeit der Beobachtung	October								November		
	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	1.	2.	3.
Oben	0·7	0·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0·7	**0·9**	**1·0**	1·1	1·5	—	—	—	—	—	—
	0·7	**0·9**	**1·0**	**1·8**	3·1	3·2	—	—	—	—	—
	0·7	0·8	0·9	1·4	3·7	4·0	—	—	—	—	—
	0·7	0·8	0·9	1·4	**4·5**	4·5	—	—	—	—	—
	0·7	0·7	0·9	1·2	4·1	6·8	—	—	—	—	—
	0·7	0·7	0·8	1·0	2·5	**10·8**	0·6	—	—	—	—
	0·7	0·7	0·7	0·9	1·2	3·6	1·6	1·8	—	—	—
	0·7	0·7	0·7	0·7	0·8	1·0	2·4	3·5	—	—	—
	0·7	0·7	0·7	0·7	0·7	0·8	2·0	**8·4**	**11·2**	**11·2**	—
							1·2	3·0	5·2	10·2	**13·5**
							0·8	0·8	0·8	0·9	1·0
Spitze											

Die Frage nach der Betheiligung der Wurzelspitze an dem Zustandekommen mehrfacher Bewegungserscheinungen ist in neuerer Zeit eine viel behandelte Frage der pflanzenphysiologischen Forschung. Es ist hier natürlich nicht der Ort, auf diese Frage näher einzugehen, nur sei des Umstandes Erwähnung gethan, dass zur experimentellen Prüfung der Bedeutung der Wurzelspitze vielfach Versuche mit decapitirten Wurzeln nöthig sind. Es möge hier am Platze sein, zu untersuchen, ob durch Abtragung der Wurzelspitze der Wachsthumsverlauf in der betroffenen Wurzel von dem gesetzmässigen in irgend einer Weise abweiche, oder ob auch die Decapitation blos einen Einfluss auf die Grösse des Totalzuwachses ausübe. Zu diesem Zwecke wurden Keimwurzeln von *Zea Mais* verwendet, von denen ein Theil intact blieb, während an den übrigen die Spitze in einer Länge von 1 Mm. abgetragen wurde. Es ist natürlich, dass die Versuche nicht lange dauern konnten, da bei einer Versuchsdauer von mehr als 72 Stunden die decapitirten Wurzeln zu sehr im Wachsthume zurückblieben, um überhaupt noch mit den intakten vergleichbar zu sein.

42.

Wurzeln in einem frühen Entwicklungsstadium 5—6 Mm. lang.

Cultur im feuchten Raum. Temperatur 16—18° C.

Fünfzehn Versuche. Übereinstimmende Ergebnisse.

A. Decapitirt.

Zeit der Beobachtung	5. XII.			6.XII.
	8h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.
Oben	0·5	0·6	0·7	0·9
	0·5	**0·7**	0·8	1·2
	0·5	0·6	**0·9**	1·7
	0·5	0·5	0·7	2·0
	0·5	0·5	0·6	2·3
	0·5	0·5	0·6	**2·5**
	0·5	0·5	0·5	1·4
	0·5	0·5	0·5	1·0
	0·5	0·5	0·5	0·6
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5

B. Intact.

Zeit der Beoachtung	5. XII.			6.XII.
	9h M.	3h N.M.	9h A.	9h M.
Oben	0·5	**0·7**	0·8	0·4
	0·5	**0·7**	0·9	1·3
	0·5	0·6	**1·0**	1·5
	0·5	0·6	**1·0**	2·3
	0·5	0·5	0·7	2·8
	0·5	0·5	0·6	**3·2**
	0·5	0·5	0·6	2·1
	0·5	0·5	0·5	1·4
	0·5	0·5	0·5	0·9
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5

43.

Ältere Wurzeln. Cultur im feuchten Raum. T. = 20—21·5°C.

A. Decapitirt.

Zeit der Beobachtung	20. XI.	21.		22.		23.
	9h M.	9h M.	9h A.	9h M.	9h A.	9h M.
Oben	1·0[1]	1·0	—	—	—	—
	1·0	1·0	—	—	—	—
	1·0	1·0	—	—	—	—
	1·0	1·8	—	—	—	—
	1·0	5·0	—	—	—	—
	1·0	**13·2**	—	—	—	—
	1·0	2·8	1·0[2]	—	—	—
			1·8	—	—	—
			2·5	2·8	2·9	—
			1·4	**3·2**	**3·5**	—
Unten			1·0	1·0	1·5	**3·7**

B. Intact

Zeit der Beobachtung	20.XI.	21.		22.	23.
	9h M.	9h M.	9h A.	9h M.	9h M.
Oben	1·0	—	—	—	—
	1·0	—	—	—	—
	1·0	1·2	—	—	—
	1·0	4·5	—	—	—
	1·0	**9·0**	1·2[2]	—	—
	1·0	2·0	3·2	—	—
	1·0	1·0	**3·9**	**8·8**	9·5
			1·8	2·0	**9·7**
			1·0	1·0	2·0
Unten					

[1] An den 15—17 Mm. langen Wurzeln wurde blos ein 7 Mm. langes Stück von der Spitze ab markirt

[2] Die 5 untersten Millimeter wurden neu markirt.

Ein Vergleich der decapitirten Wurzeln mit den intakten, deren Wachsthumsverlauf in Tab. 42 u. 43 sich zeigt, lehrt, dass auch ein Wegschneiden der Wurzelspitze das Wachsthumsgesetz nicht aufhebt und dass daher decapitirte Wurzeln, wenigstens in der ersten Zeit nach der Decapitation, in Bezug auf die Art und Weise des Wachsthumsvorganges im Wesentlichen sich wie normale verhalten.

Ueber die Beziehung des Wachsthums zu Zellbildung und Zellstreckung.

Durch die mitgetheilten Beobachtungen sind wir in die Lage versetzt, das Wachsthum der Wurzel in seinem Verlaufe überschauen zu können. Es drängt sich hiebei die Frage auf, welcher Art denn die Vorgänge seien, die sich uns äusserlich in der Verlängerung einzelner Theile der Wurzel bemerkbar machen. Vergleichende Untersuchungen des anatomischen Baues können eine Beantwortung dieser Frage ergeben.

Betrachtet man die Radicula eines Samens, so zeigt dieselbe in ihrer ganzen Länge gleiche oder wenigstens nahezu gleiche Dimensionen in den Elementen. Dieselben sind durchweg meristematischer Art, nahezu isodiametral; blos am Grunde besteht die Wurzel zuweilen aus einem Gewebe relativ kleinerer Zellen. So betrug z. B. die Länge der Rindenparenchymzellen [1] des 2·8 Mm. langen Würzelchens von *Zea Mais* im Durchschnitte

44.

Am Grunde der Wurzel	0·019 Mm. [2]
Im oberen Drittel	0·031
In der Mitte	0·031
An der Spitze	0·029

Dieselben Messungen an *Pisum sativum* durchgeführt ergaben:

[1] Zahlreiche vergleichende Beobachtungen ergaben, dass zu diesen Messungen die Rindenparenchymzellen am geeignetsten seien, da sie allein bei Wurzeln gleicher Entwicklungsstufe relativ gleiche Werthe ergaben.

[2] In Folgendem repräsentiren alle Angaben über Zellengrösse und Zellenzahl Durchschnittswerthe aus mindestens zehn Beobachtungen.

45.

Länge der Wurzel 3·7 Mm.

Länge der Rindenparenchymzellen:

am Grunde der Wurzel	0·026 Mm.
in der Mitte	0·025
an der Spitze	0·024

Diese Zusammensetzung der Wurzel aus nahezu gleichlangen Zellen ist leicht begreiflich. Bei Anlage der Radicula erfolgte eine rege Bildung von Zellen, deren Zahl durch Theilungen sogleich vermehrt wird. Das Wachsthum ist in dieser Zeit noch sehr gering, und, wie die Gleichheit der Zellen gleicher Art lehrt, ein gleichmässiges.

Nach vorausgegangener Quellung beginnt nun Wachsthum der Keimlingswurzel, und zwar, wie auf pag. 89 gezeigt wurde, zunächst am Wurzelhalse. Eine Messung der Zellenlängen in dieser Zeit ergibt folgende Resultate:

46.

Zea Mais. Länge der Wurzel 5·0 Mm.

Länge der Zellen:

am Wurzelhalse (Maxim. d. Wachsthums)..	0·078 Mm.
in der Mitte (schwaches Wachsthum)	0·046
an der Spitze (unverändert).............	0·031

47.

Pisum sativum. Länge der Wurzel 4·2 Mm.

Länge der Zellen am Wurzelhalse	0·031 Mm.
„ „ „ in der Mitte	0·027
„ „ „ an der Spitze	0·024

Es zeigt sich also eine grössere Länge der Zellen im gewachsenen Theile, sowohl denjenigen gegenüber, die in anderen Wurzelzonen liegen, als auch im Vergleiche zu ihrer eigenen ursprünglichen Länge, die wir aus Tab. 44 und 45 entnehmen können. Die Zellen des Wurzelhalses streckten sich bei *Zea Mais* im Durchschnitte von 0·019 auf 0·078 Mm., bei *Pisum* von 0·026 auf 0·031 Mm.

Ein weiteres Entwicklungsstadium zeigt uns das Wachsthumsmaximum in der Mitte der Wurzel gelegen. In der folgenden Tabelle finden sich die Werthe verzeichnet, die die Zellenlängen in den verschiedenen Zonen angeben:

48.

Zea Mais. Länge der Wurzel 21 Mm.

Wurzelhals (ausgewachsen)	0·250 Mm.
Wurzelmitte (Wachsthumsmaximum)....	0·263
Wurzelspitze (unverändert)............	0·028

49.

Eine Wurzel von *Pisum sativum* wurde in neun Zonen à 0·5 Mm. markirt. Nach 24 Stunden betrug die Länge derselben:

Wurzelhals — Spitze

0·6, 1·0, 1·8, 2·8, 3·7, 2·9, 0·9, 0·8, 0·5

(*A* = 1·0; *B* = 3·7; *C* = 0·8, 0·5)

Die Zellenlängen waren:

in Zone *A*	0·138 Mm.
„ „ *B*	0·148
„ „ *C*	0·040

Die grössten Werthe fallen in die Zone des Maximalzuwachses (*B*), die Zellen am Wurzelhalse waren weniger, aber immerhin bedeutend, die der Spitze hingegen fast gar nicht gewachsen. (Vergl. Tab. 44 u. 45.)

In allen bisher betrachteten Entwicklungsstadien sahen wir die längsten Zellen in der Zone des stärksten Zuwachses, so dass sich schon hieraus schliessen lässt, dass letzteres von der Streckung der ursprünglich angelegten Zellen herrührt. Indem diese Streckung immer neue Zellenlagen erreicht, schreitet das Wachsthum nach der Spitze fort. Dass jedoch blos Zellstreckung in dieser Zeit das Wachsthum bewerkstelligt, lehren folgende Beobachtungen.

Aus den Tabellen 44—49 lässt sich leicht die durchschnittliche Zahl der Rindenparenchymzellen berechnen, die der Länge nach einander folgen. Es ergibt sich für:

50.

Zea Mais.

Tab. 44.	(Radicula)	107 Zellen
„ 46.	(Maximum am Grunde) . .	98 „
„ 48.	(Maximum in der Mitte) . .	111 „

51.

Pisum sativum.

Tab. 45.	(Radicula)	149 Zellen
„ 47.	(Maximum am Grunde) . .	155 „
„ 49.	(Maximum in der Mitte) . .	147 „

Sieht man hiebei von den durch Individualität bedingten, nicht zu vermeidenden Unregelmässigkeiten ab, so zeigt sich nahezu dieselbe Zellenzahl in allen drei Entwicklungsstadien. Dasselbe ergibt sich aus folgender Versuchsreihe: An drei 4·5 Mm. langen Würzelchen von *Pisum sativum* (*A*) wurde die Zahl der übereinanderstehenden Epiblem- und Rindenparenchymzellen gezählt. Dasselbe geschah an drei Wurzeln, die jenen möglichst gleich waren, nachdem sie 24 Stunden gewachsen waren und eine durchschnittliche Länge von 22·6 Mm. erreicht hatten (*B*).

52.

	A	*B*
Epiblemzellen	145	150
Rindenparenchymzellen . .	150	151

An den 22·6 Mm. langen Wurzeln hatte die Zone des stärksten Wachsthums eine Entfernung von circa 4 Mm. von der Spitze. Es beweisen daher alle diese angeführten Beobachtungen, dass das Wachsthum der Wurzel, so lange die am stärksten wachsende Region am Grunde oder an der Mitte der Wurzel liegt, genauer gesagt, so lange dieselbe der Spitze nicht bis auf 4—5 Mm.[1] nahe gekommen ist, blos auf Streckung der bereits im Samen angelegten Zellen beruht.

Aus unseren Beobachtungen über den Wachsthumsverlauf wissen wir, dass das Wachsthum bei Wurzeln, die höheres Alter besitzen als jene, an denen wir bisher unsere Messungen durch-

[1] Die Zahlen drücken natürlich blos die Verhältnisse bei den beobachteten Pflanzen aus.

führten, in der Weise verläuft, dass die Verlängerung blos in einer knapp oberhalb der Spitze gelegenen Zone stattfindet, welche Zone stets, allerdings bedeutend langsamer, als dies früher der Fall war, der Spitze näher rückt. Prüft man Wurzeln dieses Stadiums auf die Zahl ihrer Zellen, so findet man dieselbe desto grösser, je älter die Wurzel wurde. Es tritt also hier bereits Zellneubildung zur Streckung hinzu. So fanden sich an einer Erbsenwurzel

53.

von 17 Mm. Länge	. . . .	145	Rindenparenchymzellen [1]
„ 27 „ „	. . . .	189	„
„ 39 „ „	. . . .	242	„
„ 52 „ „	. . . .	312	„

Die Theilungen erfolgen jedoch blos in einer Region an der Spitze. Die dadurch neu entstandenen Zellen kommen successive zur Streckung. Auf diese Weise bleibt die Zone des Wachsthums (der Streckung) stets von der Spitze geschieden durch jenen Wurzeltheil, in dem die Zelltheilungen vor sich gehen.

Das getrennte, respective gleichzeitige Wirken von Zelltheilung und Zellstreckung gibt uns die Möglichkeit, im Wachsthum der Wurzel zwei Stadien zu unterscheiden, die auch in ihrem äusseren Auftreten sich genügend kennzeichnen:

I. Stadium: Die Region des stärksten Zuwachses befindet sich am Wurzelhalse und rückt von dort gegen die Spitze vor bis auf eine Distanz von circa 4 Mm. — Nur Zellstreckung.

II. Stadium: Die wachsende Region befindet sich in einer kurzen Distanz von der Spitze, der sie sich nähert, um in ihr endlich zu erlöschen. Das Vorrücken erfolgt langsam. — Zelltheilung und darauffolgende Streckung.

Aus den Verschiedenheiten der beiden Stadien ergibt sich die Erklärung einiger begleitender Erscheinungen sehr leicht.

---

[1] D. h. im Längsschnitte sind in einer von der Spitze gegen den Wurzelhals ansteigenden Reihe 145 Zellen zu zählen.

Schon auf pag. 91 wurde hervorgehoben, dass das Vorrücken der wachsenden Region im ersten Stadium rasch, im zweiten bedeutend langsamer erfolgt. Es ist dies nur eine nothwendige Consequenz der oben angeführten Verhältnisse. Während im ersten Falle dem Vorrücken der wachsenden Region nichts im Wege steht, indem eine Zellreihe nach der andern in Streckung kommt, wird dieses Vorrücken, sobald die Wurzel in das zweite Stadium tritt, bedeutend verzögert durch die fortwährende Bildung neuer Zellen. Erst nachdem diese die Länge ihres Dauerzustandes erreicht haben, kommen die an der Spitze selbst gelegenen Elemente zur Streckung, womit das Wachsthum sein Ende erreicht.

Bereits van Tieghem[1] zeigte, dass Würzelchen, die vom Hypocotyl abgetrennt wurden, noch eine Zeit lang fortwuchsen, ihr Wachsthum jedoch bald einstellten. Die verhinderte Stoffzufuhr aus den Cotylen macht ein weiteres Wachsthum unmöglich. Es können in solchen losgetrennten Wurzeln nur jene Vorgänge ungestört verlaufen, die unabhängig von der Zufuhr der Reservestoffe sind. Hieher gehört sicherlich die Zellstreckung, die zunächst abhängt von der Aufnahme des nöthigen Wassers, die, vorausgesetzt, dass die Verhältnisse im Übrigen normal sind, auch in diesem Zustande stattfinden kann. Da nun Zellstreckung allein massgebend erscheint bei dem Zustandekommen des Wachsthums im ersten Stadium, so lässt sich im Voraus bereits muthmassen, dass dieser Theil des Wachsthums in von Stengel und Cotylen losgetrennten Wurzelchen im Allgemeinen normal auftreten wird. Thatsächlich wurde dieser Gedanke bestätigt durch Versuche, von denen ein Theil hier Platz finden möge.

Aus gequollenen Samen wurden die Würzelchen herausgeschnitten, die Schnittflächen durch feucht gehaltenes Filterpapier verschlossen und hierauf die Wurzeln markirt. Die Cultur verlief im feuchten Raume.

---

[1] Ph. van Tieghem. Recherches physiologiques sur la germination. Ann. des Sc. nat. 5. Serie. T. XVII. 1873. p. 205—225. Vergl. auch G. Marek. Das Saatgut und dessen Einfluss auf Menge und Güte der Ernte. Wien, 1875, p. 144.

54

Phaseolus multiflorus. T. = 22·5—23° C.

Zeit der Beobachtung	30.	31.	1.	2.
	October		November	
	9^h M.	9^h M.	9^h M.	9^h M.
Oben	0·5	**0·8**	1·1	—
	0·5	0·7	1·1	—
	0·5	0·7	1·1	—
	0·0	0·6	**1·2**	—
	0·5	0·6	1·0	1·4
	0·5	0·5	0·6	**3·2**
	0·5	0·5	0·5	1·4
	0·5	0·5	0·5	0·6
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5

55.

Cucurbita Pepo. T. = 21·0—22·5° C.

Zeit der Beobachtung	1.	2.	3.	4.
	November			
	9^h M.	9^h M.	9^h M.	9^h M.
Oben	0·5	0·8	1·2	—
	0·5	**0·9**	1·5	1·6
	0·5	0·8	**1·8**	2·1
	0·5	0·7	1·2	2·3
	0·5	0·6	0·7	**3·2**
	0·5	0·5	0·6	0·8
Unten	0·5	0·5	0·5	0·5

Ein Vergleich dieser Versuchsreihen mit früher mitgetheilten (etwa T. 8—10 und T. 20—21), die mit intacten Keimlingen angestellt wurden, zeigt, dass ein wesentlicher Unterschied im Verlauf des Wachsthums nicht existirt, so lange die Wurzeln im ersten Stadium sich befinden. Die in Versuch 54 und 55 verwen-

deten Wurzeln wuchsen nach dem vierten Versuchstage überhaupt nicht mehr; das Wachsthum erlosch in dem Momente, als die Wurzeln aus dem ersten in das zweite Wachsthumsstadium treten sollten.

Wurden die eben beschriebenen Versuche mit Wurzeln unternommen, die bereits älter waren, so wuchsen sie nur kurze Zeit, nur so lange eben, als die Streckung der bereits gebildeten Zellen dauerte, neue Zelltheilungen traten nicht ein.

Abgesehen von dem methodischen Werthe, den diese Thatsachen besitzen, insoferne sie uns nämlich die Möglichkeit bieten, das erste Wachsthumsstadium vom zweiten sicher zu scheiden, lehren sie uns auch einen weiteren Unterschied zwischen diesen beiden Stadien, indem nämlich das erste, blos auf Streckung beruhende, unabhängig von der Nahrungszufuhr aus den Cotylen ist, während im zweiten Stadium eine Zuleitung der Nährstoffe aus den Reservebehältern unbedingt nothwendig erscheint.

Es lag bei Betrachtung der anatomischen Verhältnisse der wachsenden Wurzel nahe, auch Rücksicht zu nehmen auf jene spontane Nutation der Wurzeln, welche von Sachs[1] entdeckt und von Darwin mit dem Namen „Sachs'sche Krümmung" belegt wurde.

Bisher wurde angenommen, dass spontan nutirende Organe aus unbekannten, indess in der Organisation der Pflanze begründeten Ursachen an einer Seite stärker als an der entgegengesetzten wachsen. Wiesner[2] hat für nutirende Internodien den Nachweis erbracht, dass dieselben ihrer Anlage nach ungleichseitig sind, nämlich an einer Seite mehr Zellen als an der andern auftreten, die Zellen selbst aber untereinander gleiche Grösse besitzen. Kommen diese Zellen ins Strecken, so muss die der Anlage nach längere Seite convex, die kürzere concav werden. Es kommt also zur Krümmung, obgleich die Wachsthumsfähigkeit gleicher Flächenstücke der beiden Seiten gleich gross ist.

---

[1] Arbeiten des bot. Institutes in Würzburg. I, pag. 402 ff.

[2] Untersuchungen über die Wachsthumsgesetze der Pflanzenorgane. I. Reihe. Nutirende Internodien. l. c, p. 82 ff.

In Folgendem sollen nun in aller Kürze meine Beobachtungen über die oben erwähnte Nutationserscheinung bei Wurzeln Platz finden, die vielleicht die Möglichkeit ergeben werden, das Zustandekommen dieser Nutation in einer analogen Weise, wie Wiesner dies für die Nutation oberirdischer Theile that, zu erklären. Meine Beobachtungen beziehen sich hiebei auf die Hauptwurzel von *Pisum sativum.*

Betrachtet man das im Samen befindliche Würzelchen dieser Pflanze, so zeigt dasselbe nicht wie die Wurzeln der meisten anderen Pflanzen einen regelmässigen, sondern einen symmetrischen Bau. Die Radicula ist im Allgemeinen kegelförmig. In der Nähe der Spitze ist die eine Seite flach, die andere convex abgerundet, welches Formverhältniss bewirkt, dass die Spitze selbst nach einer Seite, und zwar nach der Vorderseite[1] des Samens hin, verschoben erscheint. Das mikroskopische Bild eines Längsschnittes weist in Bezug auf die Länge der Zellen keinen Unterschied auf an den beiden Gegenseiten. Dagegen ist die Zahl der Elemente an beiden Seiten eine verschiedene. Die convexe (längere) (*a*) weist nämlich eine grössere auf als die entgegengesetzte (*b*). So fanden sich an zwei Erbsenwurzeln folgende Zahlen für die, der Länge nach sich folgenden Rindenparenchymzellen.

56.

I.		II.	
a Seite.........	316 Zellen	*a* Seite.........	298 Zellen
b Seite.........	290 „	*b* Seite.........	276 „

Die Erwägung des Umstandes, dass die Zellen, aus denen die Wurzelanlage zusammengesetzt ist, alle meristematischer Art sind, daher die Gewebe in einem spannungslosen Zustand sich befinden, lässt leicht erklären, warum diese Ungleichheit nicht schon in der Radicula eine Krümmung herbeiführt, sondern blos in der Form desselben ihren Einfluss bemerkbar macht.

Genauere Beobachtungen zeigen, dass die Ungleichheit der beiden Gegenseiten nicht an der ganzen Wurzel sich findet, sondern insbesondere an dem unteren, der Spitze zu gelegenen Theile.

[1] Ich gebrauche hier die Bezeichnungen Sachs', l. c. p. 402. „Vorderseite" nannte er jene Seite des Samens, der die concave Seite des austretenden Epicotyls zugewendet ist.

57.

	Oberes 1·8 Mm. langes Stück		Unteres 2 Mm. langes Stück
a Seite	120 Zellen	*a* Seite	174 Zellen
b Seite	116 „	*b* Seite	148 „

58.

	Oberes 2 Mm. langes Stück		Unteres 2·4 Mm. langes Stück
a Seite	123 Zellen	*a* Seite	212 Zellen
b Seite	119 „	*b* Seite	190 „

Es erscheint sehr begreiflich, dass diese ursprüngliche Verschiedenheit in der Zahl der Zellen später, sobald dieselben zur Streckung kommen und stark turgescent werden, zu einer Krümmung führen muss, und zwar in dem Sinne, dass die Seite mit der grösseren Zellenzahl der convexen, die Gegenseite dem entsprechend der concaven entspricht. Hiezu tritt noch der Umstand, dessen soeben Erwähnung geschah. Im Beginne des Wachsthumes werden zunächst die am Grunde der Wurzel befindlichen Zellen gestreckt, deren Zahl auf beiden Seiten nahezu gleich ist. Es wird daher in diesem Wachsthumsstadium keine Krümmung eintreten. Anders verhält es sich in dem Momente, wo die Streckung bereits die tiefer gelegenen Zellenreihen ergriffen hat; hier wird sie unmittelbar zur Veranlassung einer Krümmung.

Dieser aus dem Wachsthumsgesetz der Wurzel nothwendig sich ergebende Verlauf der Krümmung stimmt mit den Erscheinungen der *Sachs*'schen Krümmung vollkommen überein. Auch diese tritt nicht auf, sobald die Wurzel zu wachsen beginnt, sondern erst, nachdem sie eine gewisse Länge erreicht hat.

Es möge daher gestattet sein, eine Anwendung der Beobachtungen über den anatomischen Bau der Wurzel auf die Erklärung des Zustandekommens der *Sachs*'schen Krümmung zu machen. Dieselbe würde daher als *eine Folge des ungleichseitigen Aufbaues der Radicula* erscheinen.

Zusammenfassung der Resultate.

I. Das Wachsthum der Wurzeln ist in den ersten Entwicklungsstadien ein gleichmässiges, später, vom Keimungsstadium an, ein localisirtes; doch ist im letzteren Falle die Lage der maximalen Wachsthumszone veränderlich. Das Wachsthum beginnt am Wurzelhalse und rückt von dort allmälig gegen die Spitze vor, um, sobald es diese erreicht, zu erlöschen.

II. Je näher die wachsende Region der Wurzelspitze kommt, desto geringer wird die Geschwindigkeit, mit der ihr Weiterrücken erfolgt.

III. Die Länge der wachsenden Region nimmt, während letztere gegen die Wurzelspitze vorrückt, zu, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder ab.

IV. Weder die Beschaffenheit der umgebenden Medien, noch verschiedene Temperaturen üben einen Einfluss auf das Wachsthumsgesetz aus; auch Decapitation vermag den Verlauf des Wachsthums, wenigstens in der ersten Zeit, im Wesentlichen nicht zu alteriren.

V. Das Wachsthum der jungen Wurzel beruht, so lange die Region des stärksten Zuwachses der Spitze noch nicht bis auf circa 4 Mm. (bei den untersuchten Pflanzen) nahe gekommen ist, nur auf Streckung der bereits im Samen angelegten Zellen. Indem diese Streckung immer neue Zellschichten ergreift, rückt die wachsende Region gegen die Spitze vor. (Erstes Stadium des Wachsthumsverlaufes.)

VI. Bei dem Wachsthume von Wurzeln, an denen die Zone des maximalen Zuwachses bereits der Spitze bis auf 4 Mm. oder weniger (bei den untersuchten Pflanzen) nahe gekommen ist, gehen Zelltheilung und Zellstreckung parallel. Die in der Nähe der Wurzelspitze neu gebildeten Zellen gehen unmittelbar in Streckung über und bedingen dadurch das Wachsthum. (Zweites Stadium.)

VII. Das Wachsthum der Wurzel im ersten Stadium erfolgt unabhängig von der Zuleitung von Reservestoffen aus den Cotylen oder dem Endosperm.

VIII. Die Sachs'sche Krümmung ist in einer ungleichseitigen Anlage der Wurzel begründet. Es steht diese Thatsache in Übereinstimmung mit der Erklärung, die Wiesner bezüglich des Zustandekommens der spontanen Nutationserscheinungen anderer Organe gegeben hat.
